

## H15/A01 テラビット垂直スピニックスストレージシステムの研究(共同プロジェクト研究の理念と概要, 共同プロジェクト研究)

雑誌名	東北大学電気通信研究所研究活動報告
巻	10
ページ	125-127
発行年	2004-08
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/30456">http://hdl.handle.net/10097/30456</a>

## 課題番号 H15/A01

## テラビット垂直スピニックスストレージシステムの研究

## 〔1〕 組織

代表者：中村 慶久（東北大学電気通信研究所）

責任者：中村 慶久（東北大学電気通信研究所）

分担者：

杉田 恒（東北工業大学電子工学科）  
 大澤 壽（愛媛大学工学部）  
 岡本好弘（愛媛大学工学部）  
 山本節夫（山口大学工学部）  
 高橋則雄（岡山大学工学部）  
 藤原耕治（岡山大学工学部）  
 金井 靖（新潟工科大学工学部）  
 村岡裕明（東北大学電気通信研究所）  
 青井 基（東北大学電気通信研究所）  
 島津武仁（東北大学電気通信研究所）  
 山川清志（東北大学電気通信研究所）  
 大内一弘（秋田県高度技術研究所）  
 本多直樹（秋田県高度技術研究所）  
 伊勢和幸（秋田県高度技術研究所）  
 高橋慎吾（秋田県高度技術研究所）  
 玉城孝彦（日本放送協会技術局）  
 西原敏和（日本ビクター）  
 鹿野博司（ソニー）  
 岡崎 裕（ソニー）  
 園部義明（Hitachi Global Storage Technologies）  
 森田治幸（TDK）  
 田上勝通（日本電気）  
 二本正昭（日立製作所）  
 高野公史（日立製作所）  
 押木満雅（富士通研究所）  
 田中陽一郎（東芝）

研究費：校費 377,000円，旅費 740,340円

## 〔2〕 研究経過

IT社会におけるコンピュータの小型高性能化，ネットワークのブロードバンド化等の情報インフラ整備が進むと，情報を如何に蓄積し発信するかがIT社会発展の鍵となるため，大容量情報ストレージが強く求められており，強磁性の根源であるスピンの挙動にまで考慮した超大容量垂直磁気記録の研究・開発は，近年ますますその重要性を増している。テラビット垂直スピニックスストレージ

システムの研究は，材料やデバイスの議論から，システムや信号処理の検討まで幅広い領域を含むので，本共同プロジェクト研究では参加研究者の研究分野を，ヘッドディスク系のデバイス研究と，システム信号処理系の方式研究の二つに大きく分けている。デバイス側では材料と物性を含めた広範囲な高密度デバイス研究を行うとともに，試作デバイスに対してエラーレートを含めた積極的な記録再生特性評価を加えており，システム信号処理系ではその記録再生特性の結果をよく吟味した研究内容となるように共同研究の実を挙げている。研究集会は全体会議を1回を開催して最新の研究成果を持ち寄り，議論を重ねた。開催日程は以下の通りである。

研究集会

2月16日（月）

## 〔3〕 成果

## （3－1）研究成果

本研究は本研究所提案の高密度垂直磁気記録方式を中心に進めており，このためのデバイス・磁性薄膜物性や高密度信号処理方式，並びに大容量ストレージシステムの研究を分担した。本年度は以下に示す研究成果を得た。

## 1) 垂直二層膜媒体における媒体ノイズ特性と磁化状態の解析

垂直磁気記録では，特に媒体の磁気クラスタ形成による転移性ノイズの低減が必要不可欠である。転移性ノイズであればそのノイズ電圧は記録密度の平方根に比例して増加するはずであるが，実測では高線密度時に飽和する傾向を示す。高密度における磁化状態として隣接するビットが突き抜けて一部が消失するビットパーコレーションが起こっていることをMFM像より確認した。併せて，記録再生特性，ビットパーコレーションを考慮したマイクロトラックモデルによりメディアノイズ飽和が説明できることを明らかにした。これらの現象はメディアノイズ飽和だけでなく磁化振幅の減衰を引き起こすため，高密度化のためには改善し

なければならない現象であることを示した。

さらに、より詳細な解析を行うため、磁気クラスタ径の平均値の他に分散を考え、磁気クラスタ径分布を考慮した磁化モデルを提案し、その妥当性を検討した。その結果、これまでのモデルでは説明できなかった記録再生特性の違いが磁気クラスタ径分布を考慮することで説明できることを明らかにした。また、実測との定量的比較から記録再生特性からの磁気クラスタ径分布の推定が可能であること、磁化転移乱れを表現するのに提案するモデルが妥当であることを示した。

このモデルを用いてSN比向上に必要な媒体の微細磁気構造について検討した結果、記録分解能の指標として着目した転移パラメータはほぼ平均クラスタ径で決定されていることを確認し、分解能の向上には平均クラスタ径の低減が必要であることを明らかにした。一方、転移性ノイズの指標として着目した転移ジッタと転移幅変動は共に平均クラスタ径だけでなく分散にも大きく依存する。そのため、メディアノイズの低減とSN比の向上には磁気クラスタの平均値・分散両者の低減が必要であることを明らかにした。

## 2) 超高密度垂直磁気記録媒体の研究

より高密度な垂直磁気記録媒体の実現には低ノイズ化と熱安定性の両立が不可欠である。CoCr系グラニューラ媒体でこれらを達成するためには、十分に孤立化した微細結晶粒と大きな垂直磁気異方性エネルギー $K_u$ を同時に有することが重要である。磁性結晶粒の孤立化を促進させる一つの手法として、CoPtCr合金にSiO<sub>2</sub>を添加させた垂直磁気記録媒体について、記録層膜厚変化に伴う磁気特性の変化及び記録再生特性との関係について検討を行った。その結果、SiO<sub>2</sub>の粒界析出の促進と結晶粒のエピタキシャル成長の促進がほぼ両立し、明瞭な結晶粒界と7nmの微細結晶粒径からなる薄膜微細構造を実現できることがわかった。また、記録層膜厚12nmにおいても高い $K_u$ 、保磁力、角型比、及び $K_u V/kT > 80$ を有しており、膜厚8nmにおいても粒間相互作用が低減されていることが確認された。本媒体はCoCrPtB媒体と比べ、記録層膜厚を1/3程度に薄くしても再生出力減衰率が非常に小さいことから、高い熱安定性を有しており、また良好な記録再生特性を示すことから、超高密度垂直磁気記録媒体記録層材料として非常に有望と考えられる。さらに、異方性エネルギー $K_u$ の高次の項 $K_2$ を積極的に導入することにより、高い異方性を保持しつつ書き込みヘッド磁界強度を低減できる効果につ

いての解析も進めている。

これまで課題となっている媒体ノイズについて、上述の結晶粒微細化に加えて軟磁性裏打ち層(SUL)に存在する磁壁からのノイズを低減することがあげられる。裏打ち層を単磁区化し、不規則に派生するノイズを低減する必要がある、非磁性膜と軟磁性膜を積層し、軟磁性層間の反強磁性的な結合を利用した。その結果、非磁性層にRuを用いた場合に層間結合が生じ、ディスク全体にわたり単磁区化されていることが確認された。このような層間結合を利用した単磁区化は、軟磁性層材料が限定されないこと、また、軟磁性層以外の層の膜厚が薄くて済むことから、SUL単磁区化法として有用と考えられる。

## 3) 高記録分解能単磁極型記録ヘッドの研究

垂直磁気記録の高密度化には、磁界出力が大きく、且つ、ヘッド端部の磁界勾配が大きな単磁極型記録ヘッドが必要不可欠である。そのためには、主磁極膜が高い飽和磁束密度を有すること、及びブロードな磁界分布を吸収するリターンパスを主磁極端部近傍に設ける構造が要求される。

NiFeをシード層とするFeCoは高い飽和磁束密度と良好な軟磁気特性を有しており、主磁極膜として用いた結果、高記録分解能と高オーバーライト性能が得られた。また、秋田県高度技術研究所、新潟工科大学及び東北大学を中心として、単磁極ヘッドの媒体対向面に軟磁性薄膜を被着し主磁極先端面周囲をFIB装置で溝加工したフロントリターンヨーク型単磁極ヘッドの試作及び解析を行った。溝幅100nmの本試作ヘッドを用いた記録密度特性測定結果より、記録分解能向上を確認した。解析結果より、溝幅を20nm程度まで狭くしても顕著な磁界強度減少は認められず、媒体残留保磁力近傍磁界強度における磁界勾配が改善されることを示した。さらにクロストラック方向への磁界分布急峻化が期待され、隣接トラックへの影響が減少すると推察される。

## (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、現在までに日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業に採択されて研究を実施している。同じく大型プロジェクトである文部科学省平成14年科学技術試験研究RR2002に採択されており、産学連携を強力に推進し、得られた成果は次世代事業を担う新基盤技術として活用することが見込まれる。また、本プロジェクトで明らかになった超高密度垂直磁気記録の研究成果は、

日立製作所中央研究所，東芝より，ヘッドとディスクを実機ドライブに組み込んだ検討を進めて実用性の高い成果を得つつあり，今後の発展が期待されている。

#### [ 4 ] 成果資料

1. Yasushi Kanai, Osama A. Mohammed, Ryo Matsubara, Hiroaki Muraoka, and Yoshihisa Nakamura, "Numerical analysis of narrow-track single-pole-type head with side shields for 1Tb/in<sup>2</sup>," J. Appl. Phys., 193, 10, pp.7738-7740, 2003.
2. Toshio Suzuki, Hiroaki Muraoka, Yoshihisa Nakamura, and Kazuhiro Ouchi, "Design and Recording Properties of Fe-Pt Perpendicular Media," IEEE Trans. Magn., 39, 2, pp.691-696, 2003.
3. A.M. Goodman, S.J. Greaves, H. Muraoka, K. Miura, Y. Sonobe, and Y. Nakamura, "Micromagnetics of Hysteresis Loops in CGC Perpendicular Media," IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.2329-2331, 2003.
4. T. Shimatsu, T. Oikawa, Y. Inaba, H. Muraoka, and Y. Nakamura, "Formation of Magnetic Cluster and Remanence Coercivity in Granular-Type Perpendicular Media," IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.2335-2337, 2003.
5. T. Shimatsu, H. Katada, I. Watanabe, H. Muraoka, and Y. Nakamura, "Effect of Lattice Strain on Soft Magnetic Properties in FeCo/NiFe(Cr) Thin Films With 2.4T," IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.2365-2367, 2003.
6. Kazuyuki Ise, Kiyoshi Yamakawa, Naoki Honda, Kazuhiro Ouchi, Hiroaki Muraoka, and Yoshihisa Nakamura, "High-Field Gradient Cusp Field Single-Pole Writing Head With Front Return Yoke," IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.2374-2376, 2003.
7. Yasushi Kanai, Ryo Matsubara, Hideaki Watanabe, Hiroaki Muraoka, and Yoshihisa Nakamura, "Finite-Element Model Analysis of Single-Pole-Type Head for 1 Tbit/in<sup>2</sup>," IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.2405-2407, 2003.
8. Yasuaki Nakamura, Yoshihiro Okamoto, Hisashi Osawa, Hidetoshi Saito, Hiroaki Muraoka, and Yoshihisa Nakamura, "A Study of Turbo Decoding With Embedded AR Channel Model for Perpendicular Recording," IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.2570-2572, 2003.
9. Mitsuhiro Hashimoto, Kenji Miura, Hiroaki Muraoka, Hajime Aoi, and Yoshihisa Nakamura, "Influence of Transition Percolation on Media Noise in Perpendicular Double Layered Media," IEEE Trans. Magn., 39, 5, pp.2624-2626, 2003.
10. Hiroshi Yamada, Takehito Shimatsu, Isao Watanabe, Hiroaki Muraoka, and Yoshihisa Nakamura, "Preliminary Investigation for a Cylindrical Magnetic Storage System," IEEE Trans. Magn., 39, 6, pp.3619-3621, 2003.